

Enoncé 2013-2014

Introduction à l'astrophysique

Le 1 juillet 2014 – Durée: 3h (16h15 - 19h15)

1 Questions de cours (6pt maximum)

Répondre à 3 questions – pas plus – au choix (2pt par question). Maximum 10-15 lignes par réponse. Illustrer éventuellement par des dessins ou des graphes.

A- Qu'est ce que le fond de rayonnement cosmologique ? De quel type de rayonnement s'agit il et dans quelle gamme de longueurs d'ondes intervient il ?

B- Qu'est-ce qu'une chandelle standard ? Donner deux exemples.

C- Qu'est-ce que la loi de Hubble. Comment a t'elle été établie ?

D- Qu'est-ce que la pression de radiation ? Donner l'expression de la pression, P_{rad} , exercée par une étoile de luminosité L sur un grain de poussière de rayon r situé à une distance d .

E- Qu'est la "courbe de rotation" d'une galaxie spirale ? Comment l'utiliser pour mettre en évidence la présence de matière sombre dans ces galaxies en supposant leur densité de masse constante ? Justifier en quelques équations et un graphique.

2 Problème 1: matière sombre (8pt)

On cherche à étudier de différentes façons un amas de galaxies, en particulier pour mesurer son contenu en matière sombre. On obtient pour cela des images et des spectres pour les 100 galaxies les plus lumineuses de l'amas dont on considèrera dans la suite qu'elles ont toutes la même masse et la même luminosité.

1. Qu'entend-on par matière sombre ?

2. Distance à l'amas:

- une supernova de type Ia explose dans l'une des galaxies de l'amas. Quelle est la différence entre une supernova de type Ia et une supernova de type II ?
- On mesure la magnitude apparente de la supernovae: $m = +20.6$ au maximum de la luminosité de l'explosion. Sachant qu'au maximum de brillance, la supernova a une magnitude absolue de $M = -19.4$, montrer que la distance à la supernova, et donc à l'amas de galaxies est $d = 10^9$ pc.

3. Masse "visible" de l'amas: la recherche de matière sombre implique la comparaison de la masse totale de l'amas à sa masse visible.

- La magnitude apparente d'une galaxie de l'amas est $m_G = +20$. Calculer sa luminosité, L_G , en luminosités solaires. Autrement dit, calculer L_G/L_\odot . On donne la magnitude absolue du Soleil: $M_\odot \simeq +5$.
- Supposant que les 100 galaxies de l'amas ont toutes la même magnitude, calculer la luminosité totale de l'amas et sa masse lumineuse. On supposera pour simplifier que toutes les étoiles dans ces galaxies sont similaires au Soleil. Elles ont donc $L_\star = L_\odot$ et $M_\star = M_\odot$.
- Dans ce qui précède, les magnitudes ne se réfèrent pas à un filtre particulier. Ce sont des magnitudes dites "bolométriques". De quoi s'agit il ?

4. On cherche maintenant à utiliser le théorème du Viriel pour estimer la masse totale.
 - Énoncer ce théorème et ses conditions d'applications.
 - Donner une démonstration dans le cas général d'une force centrale, et en particulier pour la force de gravitation.
5. En supposant l'amas sphérique (rayon R) et que la distribution des vitesses dans l'amas est **isotrope**, montrer que la masse totale de l'amas, M , est liée à la dispersion des vitesses radiales, σ_r , des galaxies par

$$M = \frac{5R}{G} \sigma_r^2 \quad (1)$$

Pour cela montrer d'abord que l'énergie potentielle de l'amas est

$$U = -\frac{3}{5} \frac{GM^2}{R}, \quad (2)$$

en supposant que sa densité, $\rho(r) = \rho$ est constante.

6. Pourquoi s'intéresse t'on à la dispersion des vitesses radiales plutôt que la dispersion des vitesses totale, $\sigma^2 = \sigma_r^2 + \sigma_\theta^2 + \sigma_\phi^2$ en coordonnées sphériques ?
7. Exprimée en unités solaires, et pour $R = 5$ Mpc, l'équation (1) s'écrit:

$$M/M_\odot = 5 \cdot 10^9 \times \sigma_r^2 \quad (3)$$

où σ_r est mesuré en km/s. Quel est le rapport entre la masse totale et la masse lumineuse de l'amas si on mesure $\sigma_r = 300$ km/s ?

3 Problème 2: exoplanètes (6pt)

On observe une étoile de type solaire de notre Voie Lactée, dans le but de détecter une éventuelle planète en orbite autour d'elle. On s'intéresse d'abord à mettre en oeuvre la méthode dite "des vitesses radiales". Pour cela on cherche à mesurer la courbe de vitesse de l'étoile.

Le système étoile-planète peut être considéré comme isolé et les orbites autour du centre de gravité sont circulaires. On suppose aussi que le plan de l'orbite de la planète est perpendiculaire au plan du ciel, c'est-à-dire que nous voyons l'orbite par la tranche.

1. Dessiner la courbe de vitesse de l'étoile sachant qu'elle a une vitesse sur orbite de $v_\star = 30$ m/s et une période de $P = 5$ jours. Sur le même graphe, dessiner la forme de la courbe de vitesse si l'orbite était inclinée de 45 degrés par rapport au plan du ciel.
2. Comment obtient-on la courbe de vitesse à partir de spectres de l'étoile ?
3. Comment sont liées: la masse de la planète, m_p , la masse de l'étoile, M_\star , la vitesse orbitale de l'étoile, v_\star et celle de la planète, v_p ?
4. Comment se comparent la période orbitale de la planète et celle de l'étoile ?
5. En considérant que la planète a une masse m_p très inférieure à celle de son étoile mère, M_\star , écrire la 3ième loi de Kepler pour donner une expression du rayon, r , de l'orbite de la planète.
6. Comme l'orbite de la planète est vue par la tranche, la planète passe régulièrement devant son étoile mère, produisant à chaque fois une mini-éclipse dans la courbe de lumière de celle-ci. Dessiner une telle courbe en supposant que l'intensité de l'étoile ne varie pas au cours du temps hormis à cause des transits de la planète devant elle.

7. Exprimer la durée du transit (du premier contact entre le disque de la planète et celui de l'étoile, jusqu'au dernier contact) en fonction du rayon de la planète, R_p , de sa vitesse, v_p et du rayon de l'étoile, R_* . Aucune application numérique n'est demandée.
8. Certaines étoiles peuvent être pulsantes, c'est-à-dire que leur rayon peut varier périodiquement au cours du temps. Supposons que ces pulsations radiales n'entraînent pas de variations de température. En utilisant ce que vous savez du rayonnement de corps noir des étoiles, montrer que les pulsation radiales, dR , de l'étoile impliquent aussi des variations périodiques de luminosité, dL . Ces variations de luminosité peuvent d'ailleurs gêner l'observation des transits planétaires.

4 Questions en image: (5pt)



Cette image prise par le télescope spatial Hubble (HST) montre l'amas d'étoiles NGC 290.

1. Dessiner ce que peut être le diagramme couleur-magnitude pour NGC 290 et y placer qualitativement la séquence principale sachant que NGC 290 est un amas ouvert qui a donc une population stellaire très jeune. Pour dessiner le diagramme, on prendra l'échelle des magnitudes apparentes (sans se soucier des valeurs exactes, seules les valeurs relatives comptent).
2. Annoter le diagramme pour montrer où se trouvent les étoiles jeunes et vieilles, et comment les étoiles se répartissent en masse.
3. On observe un autre amas, contenant des étoiles plus vieilles que celles de NGC 290. Placer sur le même diagramme la séquence principale de cet amas s'il est à la même distance de nous que NGC 290. Justifier.
4. Comment bougerait la séquence principale de NGC 290 dans le diagramme si on éloignait l'amas de nous ?
5. On place maintenant un nuage de poussière entre nous et NGC 290. Dessiner sur le diagramme un vecteur représentant la direction dans laquelle bouge la séquence principale. Justifier.
6. Dans l'image, certaines étoiles appartiennent à l'amas, et d'autres n'en font pas partie. Comment se placeraient les étoiles non-membres de l'amas si on les ajoutait au diagramme ?
7. On arrive à mesurer une parallaxe de 0.05 seconde d'arc pour certaines étoiles de NGC 290.
 - Qu'est-ce que la parallaxe ?
 - Quelle est la distance à NGC 290 en parsecs ?
 - Quelle est la définition du parsec ?